

文章编号: 0253-9985(2005)05-0641-06

西非构造演化及其对油气成藏的控制作用

熊利平, 王 骏, 殷进垠, 张海清, 张发强

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 西非海岸盆地群的形成和发育, 与中生代以来大西洋裂开和后期的持续扩张作用有关, 是冈瓦纳大陆解体和大西洋扩张形成的大陆裂谷和被动陆缘盆地。盆地的发育受西非板块构造演化的影响, 经历了晚古生代—早中生代大陆克拉通阶段(前裂谷阶段)、中—晚中生代以来的裂谷阶段、过渡阶段和中生代末—第三纪的被动陆缘阶段。由于南大西洋的裂开南早北晚, 受其影响, 盆地的形成时间也具有南早北晚的特征。裂谷中部盆地发育良好, 向南次之, 北部发育较差; 裂谷末期, 广泛发育了一套厚层的盐岩沉积; 被动陆缘发育早期继承了裂谷阶段的沉积特征, 但晚期(始新世后)则与裂谷阶段相反, 北部形成了巨厚的尼日利亚三角洲沉积。北部油气藏的形成明显较南部晚, 加蓬盆地以南以盐下含油气系统为主, 尼日利亚盆地则以盐上第三系含油气系统为主; 油气藏的形成与盐岩活动形成的构造关系密切; 油气分布向海方向层位逐步变新。

关键词: 大陆裂谷; 被动陆缘; 油气成藏; 西非海岸盆地

中图分类号: TE112.1

文献标识码: A

Tectonic evolution and its control on hydrocarbon accumulation in West Africa

Xiong Liping, Wang Jun, Yin Jinyin, Zhang Haiqing, Zhang Faqiang

(Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing, 100083)

Abstract Formation and development of the coastal basins in West Africa had been related with the opening and later continuous spreading of Atlantic Ocean since Mesozoic. They were continental rift and passive continental margin basins formed as a result of the break-up of Gondwana and the spreading of Atlantic Ocean. Their developments had been influenced by plate tectonic evolution and had experienced late Paleozoic-Early Mesozoic continental craton stage (pre-rift stage), rift stage and transition stage since Middle-Late Mesozoic and passive continental margin stage by the end of Mesozoic-Tertiary. Formation of the basins was characterized by early in the south and late in the north, due to the influence of the opening of South Atlantic being early in the south and late in the north. Basins in the central part of the rifts were well developed, followed by basins in the southern part, while those in the northern part were relatively poor. A thick halite was widely developed in this area at the end of rifting. Early development of passive continental margin basins had inherited the sedimentary features in the rifting stage, but their features in late stage (post-Eocene) were contrary to that in the rifting stage; very thick Nigeria deltaic sediments had been deposited in the northern part. The formation of oil and gas reservoirs was obviously later in the northern part than that in the southern part. Petroleum systems in basins to the south of Gabon basin are mainly of those below the halite, while those in Nigeria basin are mainly of Tertiary petroleum systems developed above the halite. The formation of oil and gas reservoirs is closely related to structures formed by halite activities. The oil- and gas-bearing layers get younger toward the ocean.

Key words continental rift; passive continental margin; hydrocarbon accumulation; coastal basins in West Africa

西非是非洲大陆主要油气富集区之一。该区发育一系列盆地群, 北自阿尤恩盆地、塞内加尔、利比里亚和阿比让盆地, 经几内亚湾至安哥拉、宽扎盆地, 属典型的大陆裂谷和被动陆缘盆地。盆

基金项目: 中国石化科技项目“非洲重点盆地油气地质特征及勘探潜力研究”(DM-2004005)

第一作者简介: 熊利平, 女, 41岁, 高级工程师(博士), 石油与天然气地质

收稿日期: 2005-07-10

地的形成,与中生代以来大西洋裂开和后期的持续扩张作用有关,是冈瓦纳大陆解体和大西洋扩张形成的大陆裂谷和被动陆缘盆地^[1,2]。该区从北向南可分为3段:北段包括阿尤恩、塞内加尔、利比里亚和阿比让盆地;中段包括尼日尔三角洲盆地、加蓬海岸盆地、下刚果盆地和宽扎盆地;南段包括梅萨梅得斯盆地与纳米比亚盆地。其中,中段盆地群油气最为丰富。

1 区域地质演化

在地质历史上,非洲大陆是冈瓦纳古陆的核心,由古老而稳定的地块组成,包括西非、北非、刚果、东非和卡拉哈里地块。在漫长的地质历史时期,非洲地块经历了各种构造运动,地块内部不断的分化,甚至破裂。但是,对非洲影响最大的,也是最重要的一次构造运动是发生在约 $6 \times 10^8 \sim 6.2 \times 10^8$ a 前的前寒武纪晚期的造山运动——泛非构造运动(或加丹运动)。此次构造运动波及整个非洲。所波及地区地层受到热动力变质和花岗岩混合岩化作用,从而使非洲大陆成为一个古老的稳定地块区。古生代以后的几次世界范围的造山运动对非洲大陆的影响微弱,褶皱山系仅见于大陆南北两端。

西非地区板块的构造演化主要经历了4个阶段^[2,3]:晚古生代—早中生代大陆克拉通阶段(前裂谷阶段)、中—晚中生代以来的裂谷阶段、过渡阶段和中生代末—第三纪的被动大陆边缘阶段(后裂谷拗陷阶段,分为拗陷早期、中期和晚期)。

1.1 前裂谷阶段

在晚古生代二叠纪晚期,劳亚大陆(Laurasia)和冈瓦纳大陆(Gondwana)拼合形成了全球范围的超级大陆——联合古陆(Pangea)。该超级大陆在三叠纪早期达到全盛。在晚三叠世—早侏罗世,冈瓦纳大陆开始解体,并伴随着广泛大陆裂谷玄武岩喷发,标志着超级大陆开始分裂解体,开始了西非海岸盆地发育的前裂谷阶段。

1.2 裂谷阶段

非洲大陆中、新生代的历史是冈瓦纳大陆分离、裂谷形成和板块漂移的历史,西非海岸盆地的形成与这一过程密切相关。

三叠纪时期,冈瓦纳大陆西北部的陆内断裂向南扩散,而冈瓦纳大陆南部形成于侏罗纪早期的另一裂谷系则向北延伸。到中侏罗世末期,两条断裂系交汇

并切穿赤道地区。它们的进一步发育,形成了后来的大西洋和南美东侧盆地与西非海岸盆地。

北大西洋的裂开和海底扩张,始于中侏罗世并向南发展;南大西洋在阿普第晚期(早白垩世晚期)开始裂开。尽管北大西洋的裂开较南大西洋早,但是,南大西洋的裂开、海底扩张和非洲与南美洲的分离,则是南早北晚。赤道大西洋的开裂,则在阿尔比期(早白垩世末期)。非洲和南美洲在土伦期最终分离期间,南、北大西洋一度曾有过聚合。由于南大西洋逐渐张开,使得北非与欧洲大陆之间的东地中海逐渐敛合^[4]。从早白垩世开始,当南大西洋继续加宽、加深时,特提斯东地中海则表现为逐渐闭合。这种“敛合”“闭合”致使大西洋的水流体系与印度洋—太平洋冷水流体系的隔离。被隔离的南大西洋和特提斯洋两岸,温水可能占据了水体的大部分^[4],富含有机质沉积,并发生水体缺氧事件,形成了阿尔比期—森诺曼期富含有机质的沉积物和广泛分布的“黑色页岩”。晚侏罗世—早白垩世,大西洋与印度洋张开并形成大洋盆地,导致冈瓦纳大陆解体,亦揭开了南大西洋两岸盆地油气成藏历史。

西非海岸地区与晚中生代大陆裂谷有关的含油气盆地及其油气藏的形成,主要位于陆上和邻近的大陆架地区。由于受北北西向和北东东向基底断裂制约,在宽扎、下刚果和加蓬盆地发育为一系列北西向断陷、断垒,东西相间排列;受北东东向转换断裂影响断陷在南北方向上以横向隆起的形式各段错开,形成次级盆地。如加蓬盆地北部次盆和加蓬南部次盆之间,加蓬南部次盆与下刚果盆地之间。在裂陷盆地的不同地段(加蓬盆地)具有张扭拉分性质。

纽康姆世末再一次发生了强烈的伸展,并形成了广泛的不整合面。发育了多个由断陷作用形成的深湖,在不整合面之上沉积了湖相的含沥青的泥岩。这套泥岩构成了同裂谷层序主要的区域性烃源岩。巴列姆晚期,沉积了一套湖相的硅质碎屑岩,其中夹有储集性较好的砂岩,可以形成良好的储层。

1.3 “过渡阶段”——反转、抬升阶段

巴列姆阶(Barrémian)晚期,南美与非洲大陆之间的裂谷作用趋于结束,发生了裂谷之后的区域性抬升(反弹挤压作用结果),诱导南美与非洲大陆曾经一度发生过挤压聚合,形成了西非海岸裂谷盆地的反转和抬升剥蚀,形成了裂谷层序与

过渡层序之间的区域性不整合。

至阿普第早期,裂陷盆地受到挤压改造和抬升剥蚀,发生了较广泛的准平原化作用。而后,在夷平的、非海相充填的裂陷盆地之上,底部沉积了一套海相砾岩地层。

此次广泛的海侵之后,阿普提期中、晚期,在这套过渡砾岩地层之上,开始了西非海岸广泛的蒸发岩沉积,形成了西非海岸盆地主要的区域性盖层。

这套底部砾岩和其上的蒸发盐地层,在整个西非海岸中南部盆地内广泛发育,并且可以与南美地区的同时期地层对比。

1.4 后裂谷拗陷阶段(被动陆缘阶段)

阿普第期至第三纪,随着大西洋的扩张和南美大陆与非洲大陆的漂移,海岸盆地逐渐向西扩展。从东部陆上裂谷之上的拗陷盆地向西发展到一系列主体向西扩展的陆坡拗陷。相应地,沉积层序也发育为一系列向西推移的进积三角洲层序。

阿普第期至早第三纪时期为较稳定的海相沉积阶段。随着裂谷进一步扩展,海水大量进入盆地,蒸发岩沉积结束,形成了盆地区域性的碳酸盐岩沉积。随着断裂作用的不断增强,拉张应力为一系列铲状断层和盐构造的形成提供了动力,从而形成了一系列同生的盐构造。

由于上白垩统和第三系的沉积负荷增加,引起了盐岩的顺层滑脱。并可能在上白垩统的硅质碎屑岩和盐岩(滑脱的)堆积物接触面处产生形变。第三纪时期,在某些地区由于断裂活动使两者又被错开。

渐新世时期的海退导致广泛的剥蚀和沉积间断。中新世时期沉积了一套海相的碎屑岩和浊积岩。

盆地内主要存在两种不同的构造样式:其一为盐下构造,包括掀斜断块、地堑和半地堑、披覆褶曲等;其二为由盐岩沉积引起的构造,即为盐后构造,如盐丘、盐背斜和底辟等。

2 大陆裂谷作用与盆地的发育

南大西洋的大陆裂谷作用主要发育在晚侏罗世—白垩纪早期(157.1~120 Ma)。由于非洲与南美之间的大陆裂解南早北晚,导致西非中南部海岸裂谷盆地发育的南早北晚^[5],即西南非海岸盆地较宽扎盆地发育早,宽扎盆地(157.1 Ma)早于下刚果盆地和加蓬盆地(152.1 Ma),后者又早于尼日利亚三角洲盆地(裂谷层序不发育)。

不同盆地裂谷发育的活动期和发育程度存在差异。从裂谷阶段的早期到晚期,断裂活动逐渐减弱,盆地范围逐渐扩大。各裂谷阶段之间存在沉积间断,形成不整合面。对西非海岸盆地影响较明显的不整合是存在于裂谷阶段与过渡阶段的巴列姆阶晚期的不整合。不整合面以下地层剥蚀强烈,盆地早期断裂主要发育在该不整合面之下。

受盆地发育时期的控制,其不同盆地的地层发育特征也不尽相同(图1)。

大陆裂谷早期,火山活动强烈,受其影响西南非海岸盆地及宽扎盆地发育了广泛的火山岩及火山碎屑岩沉积,因此,裂谷期盐下层系下刚果盆地和加蓬海岸盆地较发育,向南部逐步变差,而尼日利亚三角洲盆地发育于大陆裂谷之后的后裂谷拗陷晚期(被动陆缘晚期),盐下地层不发育,沉积厚度小,基本不具备勘探价值。盐上层序主要形成于大陆漂移阶段,各盆地均表现为典型的被动边缘盆地充填特征,主要以浅海相砂岩、页岩及碳酸盐岩互层沉积为主。在下刚果、加蓬海岸盆地及宽扎盆地相对较为稳定,而尼日利亚盆地白垩系发育程度较差;后期尼日尔三角洲地区由于陆源物质的供应强度大,进入始新世之后形成了巨厚海陆过渡相的三角洲沉积。

总之,受裂谷发育时期的影响,盆地的发育时期,具有从南向北逐步变新的特征。盐下层系的沉积中心位于中段的下刚果盆地和加蓬海岸盆地,宽扎盆地次之,南北发育较差。盐上层序——白垩系分布稳定,北部尼日利亚盆地发育较差,第三系则相反,在北部尼日利亚盆地形成了巨厚的三角洲沉积。

3 盆地演化与沉积层序

相似的盆地发育过程,形成了西非海岸盆地相似的地层序列和沉积组合,尽管不同时期各盆地的发育程度不同,地层层序基本上都以从裂谷阶段向被动大陆边缘阶段过渡的过渡阶段形成的盐岩层为标志,形成了盐下裂谷层序、盐上被动陆缘沉积层序和盐岩层序。这三套主要的沉积层序组成了一个完整的沉积序列^[16~8]。

盐下层序:不整合覆于前寒武纪基底之上,时代为纽康姆世(Neocomian)至巴列姆期。为一套非海相地层,底部岩性为砾岩、长石石英砂岩和泥岩,向上逐步过渡为灰岩、砂岩和泥岩互层段,晚期

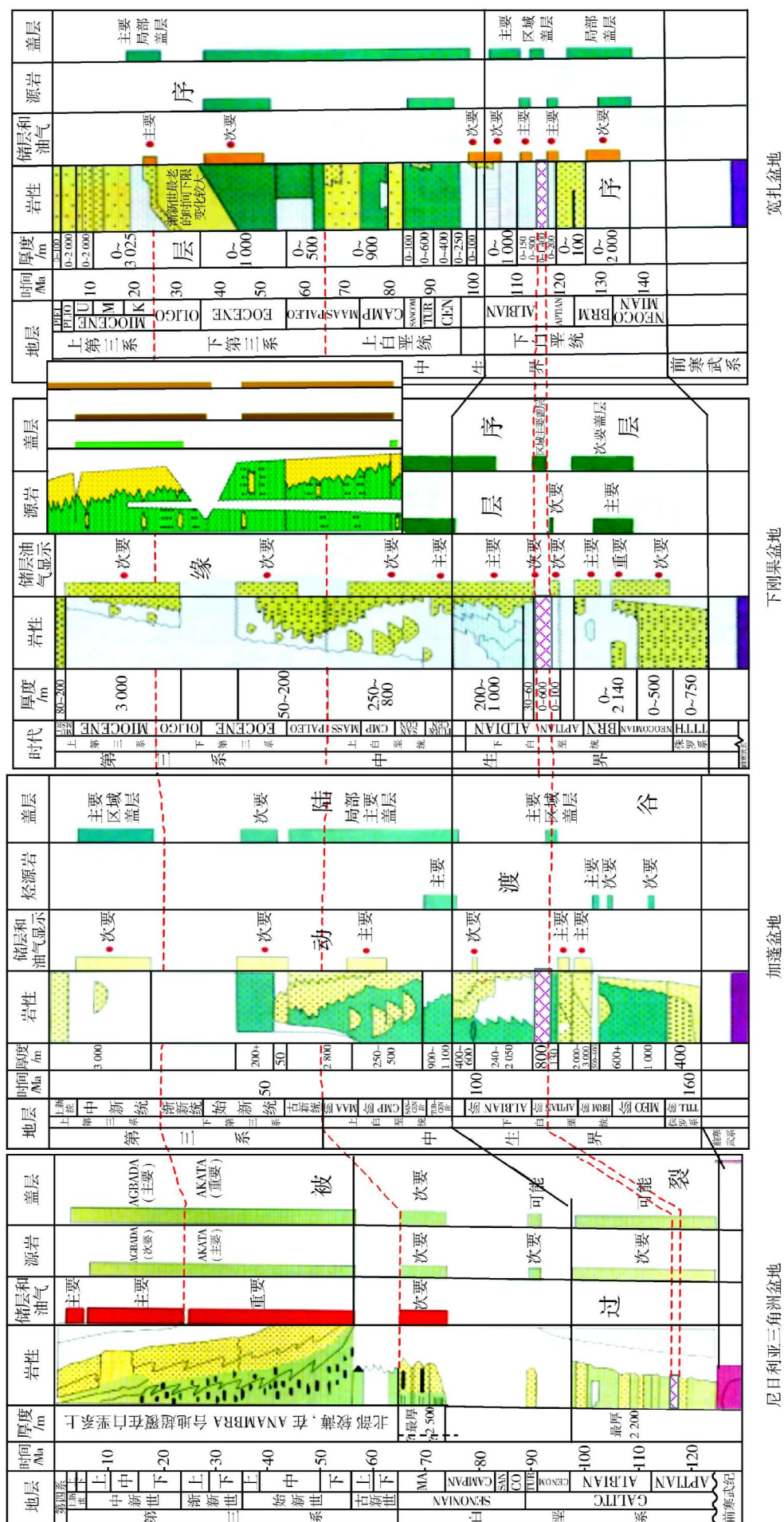


图 1 西非中南部海岸含油气盆地地层对比图
Fig.1 Correlation of strata in petroliferous basins in south-central West Africa

由于纽康姆世末再一次发生了强烈的伸展, 发育了深湖相的泥岩沉积, 形成了西非海岸盆地盐下最主要的一套烃源岩。

盐岩层序: 盐下层序和盐层序被一非常明显的整合面分开。不整合面被快速而广阔的海侵层序覆盖, 厚度约 60m, 岩性为厚层的砂岩, 但在局部地区相变为泥岩、钙质粉砂岩和白云岩。在加蓬盆地称之为 Gamba 组, 下刚果盆地为 Chela 组, 在宽扎盆地为 Grey Guuo 组。这套海相沉积超覆于前阿普第期同裂谷沉积层序之上, 其中的砂岩是横向分布不稳定的优质储层。上覆的蒸发岩层序由硬石膏、盐岩、钾岩和泥岩夹层组成, 不同部位厚度差别较大, 几十米到 800m 或更厚。这套盐岩在南部宽扎盆地 (Massive Salt) 和下刚果盆地称为 Lomé 组, 在南加蓬盆地称之为 Ezanga 组, 向北在尼日利亚三角洲盆地相变为碳酸盐岩。其后的沉积使之变形并发生底辟或形成被断层围限的盐岩墙。

盐上层序: 为一套裂谷后的被动边缘沉积, 以浅海沉积为主, 下部为碳酸盐岩, 上部变为较深水的碎屑岩沉积。该套地层横向变化较大, 各盆地之间有一定差别。

4 油气成藏特征及分布规律

西非海岸盆地的烃源岩主要有盐下和盐上两套烃源岩, 盐下烃源岩有机质丰度高, 类型好, 生烃潜力大。该套烃源岩在西南非海岸盆地, 由于裂谷早期的高地温梯度, 热演化程度较高, 已进入生气阶段 (R_o 大于 1.6%); 在中段的宽扎、下刚果和加蓬盆地热演化程度适中, 处于生油阶段 (R_o 为 0.6% ~ 1.2%)。盐上烃源岩发育, 有机质丰度高, 演化程度相对较低, 其生烃潜力取决于成熟度。而尼日利亚盆地则以第三系烃源岩为主。

储层包括盐下和盐上两套储层。盐下以河

流、三角洲及浊积砂岩为主, 储层物性较好, 孔隙度一般为 15% ~ 30%, 渗透率为几百至几千毫达西; 盐上储层有砂岩和碳酸盐岩两类储层, 以砂岩储层为主, 储集性能良好。

西非海岸盆地广泛发育的盐岩层是盆地的区域性盖层。由于其良好的封闭性, 岩盐的分布特征控制了油气藏的分布, 形成了盐下和盐上两套含油气系统。

在下刚果盆地, 盐上烃源岩成熟度低, 生烃潜力有限, 油气主要来自盐下纽康姆统湖相泥岩生成的油气。该套源岩生成的油气既可以在盐下层聚集, 也可以在盐上层聚集。而油气能否在盐上层聚集, 主要取决于是否存在穿过盐层的断层。下刚果盆地陆上部分、陆架部分和深水部分地层分布、盐岩分布差别较大。因此, 其油气分布也截然不同。其中陆上部分盐层分布厚, 一般在 800~1 000m; 向海方向逐步变薄, 陆架 (滨浅海) 部分盐层厚一般在 700~800m; 浅海部位盐层厚度推测在 0~200m; 受盐层沉积厚度的影响, 其油气分布具有以下特点。

陆上部分: 由于盐岩层厚, 断层主要分布在盐下层, 油气难以穿过盐层运移到盐上层, 而不整合面以下剥蚀强烈, 盐下层的上部被剥蚀, 其储集层位主要是盐下层的下部 (图 2)。

陆架部分: 盐层厚, 断层也主要分布在盐下层, 与陆上不同的是其盐下层不整合面以下剥蚀厚度较陆上弱, 盐下层上部地层保存较全, 因此, 其主要的储集层系是盐下层上部的砂岩中, 且以轻质油或凝析油为主, 气油比高, 或为气藏、凝析气藏。

深水部分: 盐层较薄, 断层可能穿过盐层, 油气可以沿断层运移至盐上层中储集。盐上层由于受盐的构造活动的影响, 形成一系列穹隆构造、背斜构造等圈闭, 非常有利于油气的聚集。因此, 其主

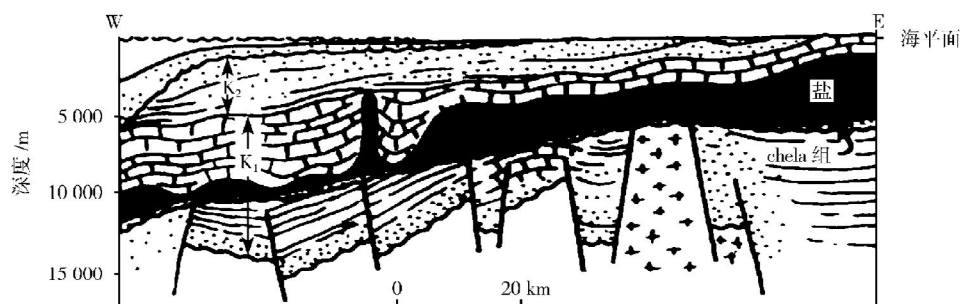


图 2 下刚果盆地东西向横剖面*

Fig. 2 E-W profile of Lower Congo basin

* 张海清, 吴洁, 藏小静, 等. 非洲中南部地区油气勘探开发领域投资战略研究. 2004

要的产层是盐上层系,且原油密度相对较大,部分地区以重油为主,原油密度可达 $0.96 \sim 0.97 \text{ g/cm}^3$ 。

总之,下刚果盆地从陆上向海方向,储集层系逐步由盐下层向盐上层过渡,层位由老变新。

加蓬海岸盆地油气成藏与分布与下刚果盆地不同,南北分异明显。北北东向的转换断层(N'Komi断层)将加蓬海岸盆地分为南北两个次盆,即南加蓬次盆和北加蓬次盆。

由于南北次盆的发育特征和沉积特征不同,形成不同的含油气组合。南加蓬次盆以盐下含油气组合为主——烃源岩为盐下 Melania 湖相页岩、Kissenda 页岩,储层为 Gamba 砂岩和 Dentale 砂岩,盖层为 Ezanga 组的蒸发岩,形成良好的生储盖组合,与盐的构造活动相关的构造配置,形成构造油气藏。这类油气藏是南加蓬次盆陆上油气藏的主要类型,且向南层位相对变老。

北加蓬次盆以盐上含油气组合——以 Azile 海相页岩为主要源岩,其次有盐下 Melania 湖相页岩、Kissenda 页岩不同程度的贡献,以盐上 Anguille 砂岩和 Batanga 砂岩为储层,层间页岩为局部盖层,形成构造油气藏或岩性-构造复合或岩性油气藏,其构造油气藏的规模较大。该种类型的油气藏是北加蓬次盆海上油气藏的主要类型。

尼日利亚三角洲盆地与加蓬和下刚果盆地不同,主要以第三系含油气系统为主。其烃源岩为阿ката组(Akata)前三三角洲和浅海陆架沉积的富含有机质的泥岩和阿格巴达组(Agbata)近岸三角洲前缘沉积的泥岩,厚度达 7 000 m 以上,有机质丰度高(TOC 为 1.4% ~ 1.6%,最高 14.4%),有机质类型为 Ⅲ型和 Ⅳ型,且地层时代越老,丰度越高。热演化程度阿ката组处于高演化阶段(R_o 大于 1.2%),阿格巴达组下部处于生油高峰阶段,顶部处于低成熟演化阶段。具有较大的生烃潜力。

由于该盆地处于南大西洋裂谷和赤道裂谷的交汇处,断裂(特别是同生断裂)发育,形成各种与断层相关的圈闭类型,如:滚动背斜、反向断块等。目前已发现的大中型油气田多属此种类型。该区还发育由多个大型同沉积构造形成的巨型构造,为油气聚集提供了良好的圈闭条件。另外,该区还发育泥岩脊和泥岩底辟构造、滑塌逆冲构造及地层圈闭等多种圈闭类型。

油气分布受沉积相带和构造带控制,油气具有

垂直三角洲的沉积走向,即平行于构造带走向从东南向西北呈带状富集,形成多个油气富集带。油气比向下倾方向、向海方向逐渐增大,即气含量增加。

5 小 结

西非海岸盆地从南向北,盆地形成和发育及油气的成藏时间逐步变新,中段油气成藏条件得天独厚。裂谷期发育多套砂岩储层,同裂谷的晚期沉积了一套优质的烃源岩,与过渡阶段沉积的盐岩盖层形成了良好的生储盖组合。由于裂谷阶段的高地温梯度,使源岩快速成熟。储层由于压实程度低,储层物性保存较好。由于盐岩的塑性,后期构造作用及沉积负荷的重力作用,使盐岩层发生塑性变形,形成了多种与盐岩的塑性变形相关的各种构造,为油气的运移和聚集创造了条件。

致谢:该文在撰写过程中参考了 HS 和 C&C 数据库的资料,在此表示感谢。

参 考 文 献

- 童晓光,关增森.世界石油勘探开发图册(非洲地区分册)[M].北京:石油工业出版社,2002
Tong Xiaoguang Guan Zengsen. Atlas of world petroleum exploration and development(Africa) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press 2002
- Vysotsky V I, Isaev E N, Klestchov K A, et al. Map of world oil and gas potential (Scale 1: 15 000 000) explanatory note[M]. Moscow: VNIIZanbezhegeologia 1995
- Sunday W, Petters Regional geology of Africa[M]. Berlin: Springer 1991
- 朗斯洛 Y. “大西洋特提斯”的形成和演化[A]. 中国地质科学院,编. “特提斯构造带地质学” 26 届国际地质大会论文集[C]. 北京:地质出版社,1983 39~41
Lancelot Y. Forming and development of “Atlantic Ocean-Tethys” [A]. Chinese Academy of Geology eds “Tectonic Geology of Tethys”, 26th International Geology conference collection[C]. Beijing Geological Publishing House 1983 39~41
- Huc A Y. Petroleum in the South Atlantic[J]. Oil & Gas Science and Technology 2004 59(3): 243~253
- 侯高文,刘和甫,左胜杰.尼日尔三角洲盆地油气分布特征及控制因素[J].石油与天然气地质,2005 26(3): 374~378
Hou Gaowen Liu Hefu Zuo Shengjie. A study of distribution characteristics of petroleum in Niger delta basin and their control factors[J]. Oil & Gas Geology 2005 26(3): 374~378
- Emery K O. Continental margin off West Africa Angola to Sierra Leone[J]. AAPG Bull 1975 59(12): 2 209~2 265
- Caffisch L. Oil exploration in pre-salt and post-salt sequence of West Africa—results in Cabinda[J]. AAPG Bull 1979 63(3): 427

(编辑 高岩)